

ELŐSZÓ

Planck természetfilozófiai írásaihoz

A Principia Philosophiae Naturalis sorozat első kötete Newtonnak, a klasszikus fizika megalapítójának természetfilozófiai szempontból fontos írásait tartalmazta, e második kötetet pedig annak a fizikusnak szenteljük, aki az első lépéseket tette meg a modern fizika irányába. Max Planck mindig is a legáltalánosabb fizikai elvek területén kívánt dolgozni, és ez automatikusan közel vitte őt a természetfilozófiai, ismeretelméleti problémákhoz. Élete második felének előadásaiiban – a tudomány módszertanával kapcsolatos széleskörű tapasztalatai birtokában – gyakran foglalkozott ilyen kérdésekkel. Véleménye azért is érdekes lehet, mert klasszikus műveltségű, konzervatív beállítottságú emberként érkezett el egy olyan ponthoz, ahol felül kellett vizsgálnia minden korábbi álláspontját, és csak kutatói lelkiismeretének, tisztességének, következetességének köszönhetjük, hogy nem könnyen ugyan, de képes volt eljutni egy gyökeresen új, teljesen más világhoz. Thomas Kuhn kifejezését használva úgy fogalmazhatnánk, hogy paradigmák határán állt. Ebben a minőségében – valószínűleg alapvetően eltérő személyiségük ellenére – csak az arisztoteliai és a mechanikai természetfilozófia között manőverező Galileihez hasonlítható.

Mielőtt rátérnénk természetfilozófiai jelentőségű írásaira, a jobb tájékozódás kedvéért vázoljuk szerzőnk

korát, életét és munkásságát. Planck élete a XIX. század közepének Németországában kezdődik, egy évtizeddel a forradalmi 48-as év után. Ez az egységes német nemzetállam kifejlődésének és a német ipari forradalomnak a kora. A Planck születése előtti és utáni évtizedben a gyárak méretei – különösen a porosz vas- és acéliparban – egyre nőnek, a vasúti hálózat hossza és a kereskedelmi forgalom megtöbbszöröződik. Mindeközben a bel- és külpolitika rendkívül mozgalmas: háború az olaszok ellen; alkotmánykonfliktus; Bismarck kancellári kinevezése; Poroszország háborúja a dánok ellen Schleswigért és Holsteinért – így Kielért, Planck szülővárosáért is – osztrák segítséggel, majd háború az osztrákok ellen; a pénznemek és mértékrendszerek egységesítése; a piac, a közlekedés és a pénzügyek szabadságának megvalósítása; háború a franciák ellen. Az újjáalakuló politikai rend – az egységes Németország – sem hozott azonban nyugalmat. A gazdasági fejlődés ugyanis világszerte egyre gyakrabban megjelenő válságokkal járt. A németországi válságok természetesen nem hagyták érintetlenül a politikai és kulturális életet sem. Planck kamaszkorát például végigkísérte a „Kulturkampf”, amelynek során létrejött az állami közoktatás, szétvált a politikai és a vallási szféra.

A válságok között tovább folyt az ipari termelés, a vasúthálózat, a bányászat növekedése és ennek megfelelően a világpiac kibővülése, a vállalkozások és a városok terebélyesedése. Ebben a fejlődésben a századforduló környékére Németország a világ élvonalába került. A militarista szellemű német állam támogatta az egyre nagyobb szerepet játszó nehézipari kartelleket. Az új évszázad első évtizede után Német-

ország az egyik legnagyobb tőkeexportáló állammá vált. A villamossági termékek világpiacának egyik felét például az AEG és a Siemens birtokolta (a másikat az amerikai GE és társai). Mindezen folyamatok azt eredményezték, hogy Németország érdekelt lett a világ gazdasági és területi újrafelosztásában. Az I. világháború előtti években a belpolitikai helyzet megint válságossá vált, mozgalom indult a – cenzus nélküli – általános választójogért, gyakran fegyveres összecsapásokba torkolló tüntetések, sztrájkok törtek ki. Ebben a kül- és belpolitikai helyzetben Németország meghatározó szerepet játszott az I. világháború kitörésében. A lakosság és a katonák jelentős része a kezdeti nacionalista lelkesedés után fokozatosan kiábrándult az elhúzódó és borzalmas háborúból. A kielitől például a hajókon éhségstrájkoltak a matrózok. A németek a háború alatt kétfélmillió embert veszítettek, az életben maradtak pedig éheztek és nyomorogtak. Visszatértek a háború előtről ismert tüntetések és sztrájkok, amelyeket erőszakkal vertek le. Közben Németország elvesztette szövetségeseit is, helyzete reménytelenné vált. A kielitől a matrózok katonatanácsokat alakítottak, kitört a forradalom, a császárság megbukott, aláírták a fegyverszüneti egyezményt, a háborút tehát elvesztették. A harcok egy darabig még folytatódtak a „belső frontokon”: különböző politikai irányzatok közötti nézeteltéréseket, a hatalom kérdését fegyverekkel oldották meg. A folyamat végeredménye a Weimari Köztársaság.

Az új államalakulatnak azonban nem sikerült hosszútávon feloldania a német bel- és külpolitika ellentmondásait. Nemzetközi szinten Németország elszigetelt maradt, területének egy részétől, gyarmataitól

a békeszerződések megfosztották. Hadipotenciálját bizonyos vonatkozásokban korlátozták, és meghatározatlan összegű, de igen súlyos jóvátételre kötelezték. A külpolitikai helyzettel is összefüggő belső problémákat jelzik például az 1923-as baloldali, majd a fasiszta hatalomátvételi kísérletek. A helyzet annyira rossz volt, hogy a német pénzügyeket a győztesek voltak kénytelenek konszolidálni, miközben garantálták az ország nyugati határait is. Németország ipari termelése ismét fellendült, a német cégek tovább növekedtek, illetve új óriásvállalatok jelentek meg. A fejlődésnek ismét válság vetett véget, amely ezúttal világválságba torkollott. A húszas évek végén, a harmincas évek elején először a tőzsdék omlottak össze, köztük a berlini is; a német bankok csődbe mentek, az ipari termelés majdnem a felére esett vissza. Ennek megfelelően alakult a munkanélküliség is, minthogy kis- és középvállalatok tízezrei mentek tönkre. A revánsra és militarizmusra hajlamos Németországban ezek a fejlemények utat nyitottak a fasizmusnak. Hitler 1933-as hatalomra jutása gyökeresen megváltoztatta a belső helyzetet, de egyben az európai- és világhelyzetet is. A diktatórikus államszervezetre alapozva megkezdődött a felkészülés egy újabb háborúra. Németország külföldön először csak befolyását növelte a fasiszta pártok révén, majd szövetségesekre tett szert (például Olaszország); 1938-ban harc nélkül szállt meg országokat (Ausztria, Csehszlovákia), 1939-ben pedig Lengyelország megtámadásával elkezdődött a II. világháború. A németek 1940-ben lerohanták először Dániát és Norvégiát, majd Belgiumot, Hollandiát és Luxemburgot. Ezután következett Franciaország és – egy másik frontot

nyitva – a Balkán meghódítása. 1941-ben megtámadták a Szovjetuniót, fokozódtak a harcok az afrikai hadszíntéren, és belépett a háborúba Japán, valamint az Egyesült Államok is. A háború 1943-ban vett fordulatot, amikor az antifasiszta koalíció megállította a németeket a szovjet és az afrikai fronton, és part-ra szállt Olaszországban. 1944-ben a szovjet hadsereg felszabadította saját területét és Kelet Európa nagy részét, megnyílt a nyugati front, 1945-ben pedig Németország (és Japán) teljes vereséget szenvedett; területének egy részét ismét elvesztette, a maradékot a szövetségesek ideiglenesen felosztották egymás között. A II. világháború még az elsónél is súlyosabb veszteségeket okozott, hiszen a rombolás és gyilkolás már nem korlátozódott a frontokra, hanem közvetlenül érintette a lakosságot is.

A vázolt történelmi folyamatokban a tudomány és a tudósok nélkülözhetetlen szerepet játszottak. A XIX. század második felének gazdasági fejlődése jelentős mértékben köszönhető a tudományos eredményeknek is. Gondoljunk csak arra például, hogy a fizikának köszönhetően széleskörűen elterjedt az elektromosság használata, forradalmi változáson ment keresztül például a világítás vagy a távközlés (utóbbi Planck életében többször is). Egyre inkább az a tendencia, hogy a tudományos eredményeket fel lehet használni a technika fejlesztésére (korábban gyakrabban fordult elő, hogy a technikai fejlődés megelőzte a tudományt). A tudomány és a technika tehát szoros kapcsolatba kerül, utóbbi pedig egyre közvetlenebbül hat a termelésre, a mindennapi életre. Ahol tehát a gazdasági fejlődés a legmagasabb szinten áll, ott van a tudományos élet élvonalja is. Ez az összefüggés érvé-

nyesül Németországban: a XIX. század végére a tudomány jelentős súlyponteltolódást mutat Európa nyugatabbi részei (Anglia, Franciaország) felől a német tudomány javára. Ebbe a folyamatba illeszkednek Planck tanárai és ő maga is. Eredményeik jelentősen kihatottak a következő generációk életére. Csak egyetlen példaként álljon itt a Planck által újtára indított kvantummechanikai fejlődés, amely nélkül ma nem léteznének mondjuk személyi számítógépek. A tudománynak az élet más területeivel való összefüggését számba véve sajnos kevésbé vonzó eseteket is meg kell említenünk. A német tudósok például aktívan részt vettek a háborús erőfeszítésekben. Az I. világháború idején a német fizikusok, vegyészek jelentős áttöréseket értek el különböző hadianyagok (köztük harci gázok) tömeges gyártásában. Persze a siker helyett a háború végén a kudarcban is osztozniuk kellett a katonai vezetőkkel és politikusokkal. Ráadásul a nemzetközi elszigeteltség jó ideig rájuk is vonatkozott. A fasizmus szelleme ugyancsak nem hagyta érintetlenül a német tudományt. Lénárd és Stark – erős politikai hátszéllel – olyan mozgalmat indított el, amely megpróbálta a fizikát árja és zsidó részre osztani. Ezzel lehetetlenné tették zsidó származású kollégáik munkáját, sőt életét, és menekülésre készítették őket. A modern fizikát csak az mentette meg a Harmadik Birodalomban, hogy szükség volt rá az újabb háborúhoz. Atombombát, atomreaktort ugyanis csak ennek alapján lehetett tervezni.

* * *

Hogyan viszonyult ezekhez a történelmi és tudományos folyamatokhoz kötetünk írásainak szerzője, Max Karl Ernst Ludwig Planck? Nos, úgy tűnik, valamilyen módon kívül tudott állni ezeken az eseményeken¹, vagy talán helyesebb úgy fogalmaznunk, hogy bizonyos értelemben felül tudott kerekedni rajtuk, talán sztoicizmusa, filozofikus hozzáállása révén. És – mint látni fogjuk – ez nemcsak a politikára vonatkozik, hanem időnként saját életfelfogására és tudományos tevékenységére, de akár a magánéletét sújtó tragédiákra is. A politika esetében persze azt is figyelembe kell vennünk, hogy kutatóvá éérésének és tudományos aktivitása csúcspontjának időszaka a fenti történelmi folyamatból pontosan az a négy évtized, amikor Németországban ugyan nem volt nyugalom, de háború sem.

Max Planck 1858. április 24-én született a Hansa-ki-kötőváros Kielben egy régi nemesi család tagjaként. Felmenői tudósok, jogászok, lelkészek, teológusok, tanárok voltak (az utólagos genealógiai kutatások kiderítették, hogy egy XV. századi ősnak nemcsak ő a leszármazottja, hanem Hegel, Schelling, Schiller és Hölderlin is), apja jogászprofesszor a Kieli Egyetemen. Nyilván e családi légkörből fakad konzervativizmusa, idealizmusa és megbízhatósága. Planck gyermekkorát szülővárosában tölti, tanúja a német-osztrák csapatok bevonulásának 1864-ben. Három évvel később apja meghívást kap a Müncheni Egyetemre, s a család odaköltözik. Planck a gimnáziumban jó tanuló volt, könnyen elsajátította a tudnivalókat és kitűnt pontosságával, matematikai tehetségével. Emellett a müncheni kulturális élet közegében nem volt nehéz

megszeretnie a zenét, zenélést: énekelt, több hangszeren játszott.

Az érvek és ellenérvek gondos mérlegelésével végül mégis inkább fizikát akart tanulni (a zene mellett felmerült még az ókori nyelvek tanulmányozásának lehetősége is). Apja összehozta kollégájával, a fizikai kar dékánjával, Philipp von Jollyval, hogy beszéljen az ifjúval a pályaválasztásról. Planck legnagyobb meglepetésére a fizikus (akinek nem ez volt az első melléfogása, még fiatalabb korában egy Julius Robert Mayer nevű hajóorvos tőle kért tanácsot, mielőtt eljutott volna az energiamegmaradás törvényéhez – Jolly nem értette meg, miről van szó) megpróbálta lebeszélni az elméleti fizikusi pályáról. Ekkor zajlott le a híres beszélgetés, amelyben Jolly a fizikát mint csaknem befejezett tudományt írta le, amelynek már legfeljebb csak egy-egy vizsgálható porszeme maradt,² következésképpen alkalmatlan tárgy egy ambiciózus fiatalember számára. Mint tudjuk, egyik ilyen porszeméből – vagy talán helyesebb a kuhni anomália kifejezést használni – lett Planck Nobel-díja. Ő ugyan is ekkor már döntött, nem hagyta lebeszélni magát; 1874-ben beiratkozik az egyetemre, ahol – más nem lévén – kísérleti fizikát tanul, többek között Jollytól. Mivel azonban főleg az elméleti fizika érdekelné, a fizika törvényei, alapelvei, ezért matematikával is sokat foglalkozik.

1877-től két szemesztert a Berliini Egyetemen tölt, ahol Hermann Helmholtz és Gustav Kirchhoff (matematikából pedig Karl Weierstrass) óráit hallgatja. Az előbbiről tudományos körökben azt tartották, hogy Bismarck és a császár után a legnevezetesebb személyiség az országban. Sokoldalúsága és persze

az energiamegmaradás törvényének megfogalmazása miatt nagy tiszteletnek örvendett. Planck itt ismerkedik meg Rudolf Clausius termodinamikai munkáival is. A nem túl jó előadások helyett érdekes módon ezek az írások jelentetik a berlini kirándulás legfőbb hasznát. Ezek hatására határozza el Planck, hogy hőtannal fog foglalkozni. Talán ez az első lépés abban a bizonyos kívülállásban és a problémákon való felülkerekedésben. Az érdeklődésének meg nem felelő tanárok miatt ugyanis fizikusunk nem az idősebb kollégáktól tanulja el a szakmát, hanem teljesen önállóan, majdnem kizárólag könyvekre támaszkodva. A következő évben befejezi az egyetemet Münchenben, matematika-fizika tanári diplomát szerez. 1879-ben kiváló (summa cum laude) minősítéssel megvédi *A hő mechanikai elméletének második törvénye* című doktori disszertációját, amelyben megadja az entrópiatörvénynek egy Clausiusénál általánosabb megfogalmazását, és azt először használja fel konkrét fizikai problémák megoldására. Azonban a munka tartalmát valójában senki sem értékeli, a bizottság inkább Planck egyetemi előmenetelét veszi figyelembe. Azoktól a fentebb említett neves fizikusoktól, akiknek Planck ismeretségük miatt elküldte a dolgozatot, szintén nem érkezett pozitív reakció. A tartózkodás oka valószínűleg a tudományban a század közepe óta – Schelling és Hegel természetfilozófiai munkásságának „köszönhetően” – jelenlévő ellenszenv a spekuláció iránt, amivel az elméleti kutatást is könnyen meggyanúsíthatták. Ezeket az ellenérzéseket önti formába néhány évvel később Ernst Mach a *Mechanik*, majd *Az érzetek elemzése* című műveiben.

A fiatal elméleti kutatóra pillanatnyilag tehát senkinek nincs szüksége, lényegében fix állás nélküli magántanár, valószínűleg elenyésző számú hallgatóval. Magányos fizikai kutatásai mellett zenét hallgat és zenél, valamint hegyet mászik. 1885-ben meghívják az elméleti fizika professzorának a Kieli Egyetemre. A kinevezést itt sem annyira munkásságának köszönheti, mint inkább apja egyik ottani fizikus barátjának (a helyre egyébként már két éve várt hiába Heinrich Hertz, az elektromágneses hullámok néhány évvel későbbi felfedezője). Közben a Göttingeni Egyetem pályázatára hosszabb tanulmányt ír *Az energiamegmaradás elve* címmel, de továbbra is inkább az entrópia növekedésének elvével foglalkozik, írásain ezidőtájt érződik Mach filozófiai hatása. Az elvi problémák vizsgálata mellett most is megpróbál konkrét problémákat megoldani az entrópia fogalmának segítségével, ezúttal már nemcsak a fizika, hanem a kémia területéről is. Ezekre a munkáira már felfigyelnek: egyrészt összevész Svante Arrhenius-szal a termodinamika hatókörén, másrészt cikkeiket közli Wilhelm Ostwald a fizikai kémia (és a hasonló nevű folyóirat) megalapítója. 1887-ben önállósodásának jelentős lépéseként összeházasodik gyermekkori barátnőjével, Marie Merck-kel. 1889-től a Berlieni Egyetem új Elméleti Fizika Tanszékének rendkívüli professzora, bár Kirchhoff halála után Helmholtz elsőként az osztrák Ludwig Boltzmannt, a kor egyik legjelentősebb tudósát, másodikként Heinrich Hertz-et próbálta meghívni, de ők nem akartak Berlinbe költözni. Helmholtz ajánlása szerint Planck „gondolatai eredetiek... saját maga keres utat magának.”³

Új helyén az első években elektro- és termokémiai

problémákkal foglalkozik, miközben nem hanyagolja el a termodinamika melletti másik szerelmét, a zenét sem – akusztikai jellegű vizsgálatokat végez a tan-székre érkezett harmóniumon, és zeneelméleti elő-adásokat is tart. Planck fokozatosan tekintélyt szerez elméleti fizikai munkájának, fizikus kollégái már nem engedik meg maguknak, hogy ne válaszoljanak leveleire, mint azt egy évtizeddel korábban tették. Közben Ostwald Lipcsében megalapítja az energetikai iskolát, amelynek alapelve, hogy az energia az egyetlen fizikai létező, és segítségével minden fizikai folyamat magyarázható. Így az iskola szorosan kapcsolódik a termodinamikához és ezzel Planck kedvenc területéhez. Eleinte nem reagál az új filozófia megjelenésére, úgyhogy többen azt hihetik, egyetért ezzel a megközelítéssel. 1892-től rendes professzor, 1894-ben pedig a Porosz Tudományos Akadémia tagja lesz (bizonyos szempontból az utolsó pillanatban, ugyanis két nagytekintélyű ajánlója, Helmholtz és az intézetigazgató August Kundt, még abban az évben elhunyt), és talán az ezzel is tovább növekedő tekintélyére támaszkodva két évvel később már cikkeket kezd írni az energetizmus ellen. Többek között az ellen harcol, hogy az energiának a melegebb testről a hidegebbre való áramlását analógnak tekintsék a víz magasabbról mélyebbre való áramlásával. Valójában ebben az időben sokkal többet nyom a latban Boltzmann egészen más alapállásból induló fellépése Ostwaldék ellen, ami némileg elkeseríti Planckot – mint azt tudományos önéletrajza is tükrözi.

Családja ezekben az években lényegesen megnőtt, megszülettek gyermekei: Karl, Erwin, Emma és Margarete, utóbbiak ikrek. Maxwell és H. Hertz mun-

kásságának nyomán már a 80-as években egyre több fizikus foglalkozott elektrodinamikai problémákkal. Planckot a fizikának ez az ága is annyiban érdekelte, hogy miként lehet benne a termodinamikát felhasználni. 1896-tól egyre többet próbálkozott a hőmérsékleti sugárzás elméletével. Ekkor már ismert volt a Stephan–Boltzmann törvény, a Wien-féle eltolódási törvény, s maga Wilhelm Wien, továbbá Lord Rayleigh, James Jeans és mások – különböző feltevések mellett – a klasszikus elektrodinamikai elméletből kiindulva kísérletet tettek a sugárzás intenzitásának levezetésére a frekvencia és a hőmérséklet függvényében. Berlinben pedig két csoport is vizsgálta a Kirchhoff-féle abszolút fekete test sugárzásának spektrális energiaeloszlását, úgyhogy a kísérleti adatok egyre bővülő halmaza és a közvetlen ellenőrzés lehetősége adott volt. Planck egészen más úton indult el, mint a többiek, és lényegében ő volt az egyetlen, aki ezt megtehetette termodinamika iránti vonzódása és e területről származó előismeretei révén. A sugárzás entrópiáját Boltzmann már jóval korábban megadta, és most ezt fel lehetett használni a hőmérsékleti sugárzás problémájának megoldásához. Az eredmények 1899-1900-ban fokozatosan beértek. Először 1900. október 19-én ismerteti saját megoldását a problémára, amikor hozzászól a Német Fizikai Társaság ülésén Ferdinand Kurlbaum előadásához, aki Heinrich Rubens-szal mért adatai alapján azt állítja, hogy Wien függvénye nem helyes. A felszólalás mindössze 3 oldalon jelenik meg a Társaság közleményeiben *A Wien-féle eloszlási törvény módosításáról*⁴ címmel. Rubens még aznap éjjel összehasonlítja Planck függvényét a kísérleti eredményekkel, és jó egyezést talál. Planck tulaj-

donképpen formálisan a Wien- és a Raleigh-Jeans-féle függvényekből kiszámított entrópiák második deriváltjai közötti interpolációként kapta eloszlását. Az eljárás jelentésén tovább dolgozva december 14-én, az új évszázad beköszönte előtt tartja meg *A normál-spektrum energiaeloszlási törvényének elmélete*⁵ című előadását, amelyben először szerepel a kvantumhipotézis.

Állítólag tisztában volt eredményének jelentőségével, legalábbis Werner Heisenberg ezt írja: „Planck fia később elmondotta, hogy még mint gyermeknek, egy grunewaldi séta alkalmából beszélt neki apja új elgondolásairól. Kifejtette, hogy érzése szerint vagy olyan jelentőségű felfedezést tett, amely talán Newton felfedezéseivel hasonlítható össze, vagy alapvetően téved.”⁶ A történet hitelességét némileg csökkenti, hogy Erwin ekkor hét éves volt. Mindenesetre Planck e munkája során megint tanúbizonyságot tett nem csupán kívülállóságáról – mint említettük, ő volt az egyetlen, aki az entrópia oldaláról közelítette meg a problémát, és ezzel minden korábbi, általa ki-munkált (fizikai és kémiai) alkalmazásnál hatásosabban bizonyította az entrópia-fogalom használhatóságát –, hanem felülemelkedési hajlamáról is. Boltzmann atomisztikus és valószínűségi módszereiről ugyanis korábban nem volt jó véleménnyel, mert mindig az abszolút érvényességű tételeket kereste. Most mégis képes volt erőt venni magán, és a cél érdekében elfogadta ezeket a módszereket. A kapott eredmény – az atomi oszcillátorok energiaszintjeinek kvantált-sága – őt is megdöbbenetett. A következő mintegy tucatnyi év alatt ezért rengeteget próbálkozott vele, hogy eredményét beillesse a klasszikus fizikába.

Törekvése nem járt sikerrel, így végül feladta a reményt.

Ez persze azt jelentette, hogy a kvantáltság népszerűsítésében ő maga nem vett részt. Helyette például Albert Einstein próbálkozik ezzel Nobel-díjjal kitüntetett cikkében 1905-ben, amikor a fényelektromos effektust Planck hipotézisének kiterjesztésével magyarázza. Nevezetesen azt állítja, hogy nem csupán az atomi oszcillátorok rendelkeznek diszkrét energiaszintekkel, hanem maga a keletkező elektromágneses sugárzás is kvantumokból áll. Egy másik cikkben kvantáltságot feltételezve írja le a szilárd testek fajhőjének alakulását is. Ugyanebben az időben Boltzmann tanítványa, Paul Ehrenfest arról ír, hogy a kvantumhipotézis – és ezt Planck ekkor még nem hiszi el – nem vezethető le a klasszikus fizikából, teljesen új, önálló elmélet. Ehrenfest később is sokat tesz ennek elfogadtatásáért. Einstein 1905-ben a fentiek mellett megalkotja még a speciális relativitás elméletét is. Ez felkelti Planck érdeklődését, így 1906 és 1908 között relativitáselmélettel is foglalkozik, mellesleg később meghívja Einsteint Berlinbe (hogy mennyire nem fogadja el saját kvantumhipotézisének általánosítását, azt mutatja az ebből az alkalomból írt ajánlólevele, amelyben a fényelektromos effektus megoldására tett javaslatot – a relativitáselmélet érdemével bőségesen ellensúlyozott – bocsánatos bűnként tünteti fel). Nem hagy fel azonban a termodinamikával sem: Walter Nernst után néhány hónappal ő fogalmazza meg a termodinamika harmadik főtételenek azt az alakját, amelyet ma is legtöbbször használunk.

Ebből az időszakból származik egy újabb érdekes

történet, amely megint csak saját korábbi felfogásán való felülemelkedési képességét illusztrálja. 1907-ben megjelent nála a Bécsi Egyetemen második nőként doktorált Lise Meitner, hogy előadásait hallgassa. Planck meglehetősen barátságtalanul fogadta: „Hiszen megszerezte már a doktori címet. Hát mit akar még?” Később azt írta, hogy nőknek csak próbaképpen és bármikor visszavonhatóan kellene engedélyezni előadásai látogatását, és hogy „maga a természet a nőknek az anyaszerepet és a háziasszonyi hivatást írja elő”. Később azonban Planck felismeri Meitner tehetségét, kinevezi asszisztensévé, és Meitner még a családdal – persze főleg a Planck-lányokkal – is összebarátkozhat.⁷ 1908-ban Planck leideni előadásában – elsősorban szakmai tapasztalatai alapján – bírálni kezdi Mach tudományfelfogását, amit Einstein is értetlenül fogad. Vita kezdődik, amelyet a maga részéről Planck időnként még Mach halála után is folytat. 1909-ben, huszonkét évnyi boldog házasság után elhunyt felesége. A következő évben elveszi annak unokatestvérét, Marga von Hösslint, és újabb fia születik, German.

1911-ben kinevezik a Vilmos Császár Társaság elnökének, 1912-től az Akadémia örökös titkára, 1913-ban a Berlieni Egyetem rektora lesz egy tanévre. Ebben az évben lát napvilágot Bohr atomelmélete, amely szintén a kvantumhipotézis segítségével magyarázza meg a színeképvonalakat. Bár ez a modell nem problémátlan, hiszen ellentétben van a kvantumelektrodinamikával, sikere nyomán már Planck elméletét sem lehet lesöpörni az asztalról. Az I. világháború kitörésekor és tulajdonképpen az egész háború alatt Planck „jó német hazafinak” bizonyult. Állásfoglalásai

a német becsületről, a harci elszántságról és a haza üdvéért harcoló hősekről valószínűleg részben magyarázhatók naivitásával és politikai analfabetizmusával – ahogyan lényegében Meitner és Einstein jellemzik barátjukat ebből a szempontból. Láthatatlanban aláírja a 93 tudós Németország védelmében született kiáltványát (akárcsak Nernst, Ostwald, Wien vagy akár Konrad Röntgen), ami miatt aztán sokat kell mentegőznie külföldi kollégái előtt. 1916-ban Verdunnél elesik idősebbik fia, Karl, a következő évben pedig belehal a szülésbe az időközben férjhez ment Margarete. Emma vállalja az életben maradt gyermeket és férjhez is megy özvegy sógorhoz, de a következő évben követi testvérét: ő is belehal a szülésbe. A két unoka a nagypapa házában nevelkedik fel.

Az 1918-as Nobel-díjat (1919-ben) a hatáskvantumért kapja, ő az első elméleti fizikus, aki ebben a megtisztetésben részesül, miután már 1907-től jelölték a díjra. Kitüntetése ellenére – a kiáltvány aláírása miatt – sokáig nem hívják meg Franciaországba vagy Belgiumba. Tovább tanít, de nevéhez nem fűződik elméleti fizikai iskola Németországban. Bár talán tényleg ő volt az első német elméleti fizikus, iskolát Arnold Sommerfeld teremtett Münchenben és Max Born Göttingenben. Ennek oka megint Planck kívülálló természete, és hogy tanítványaitól ugyanazt az önállóságot várja el, mint amit ő tanúsított hasonló korában. E követelménynek kevés, de kiváló hallgató felel meg (összesen kilenc doktorandusa volt életében), így Max von Laue, aki előbb kapott Nobel-díjat mesterénél, a kiváló fizikus és matematikus Ernst Zermelo vagy a filozófussá lett Moritz Schlick. Planck kvantumhipotézisének végleges uralomra jutása 1925-ben

következik be Heisenberg és Erwin Schrödinger kvantummechanikájával. 1926-ban utóbbinak adja át professzori állását, amikor nyugdíjba vonul. Ezután inkább már csak világnézeti jellegű előadásokat tart, amelyekben tapasztalatait foglalja össze. A Weimari Köztársaságban Lauével együtt belép a Német Néppártba, és annak megszüntetéséig tagja marad.

Planck nem volt tehát náci, de Hitler uralomra jutása után is a helyén maradt (értve ezalatt nemcsak Németországot, hanem az általa betöltött funkciókat is). Valószínűleg az az illúzió élte, hogy egyrészt csak ideiglenes állapotról van szó, másrészt így talán tehet valamit. Meg is próbált kiállni zsidó kollégái mellett, de teljesen eredménytelenül. Közvetlen környezetében – minden kérelme ellenére – Meitnert elűldözték, Fritz Habernek (aki az I. világháborúban óriási szolgálatokat tett az országnak és száműzetésének első évében meghalt) már az emlékülését is bátorság volt megrendezni Planck részéről, Einsteinnek maga javasolta, hogy a békekesség kedvéért mondjon le akadémiai tagságáról. Hitler ugyan szóba állt a Nobel-díjas fizikussal, de ténylegesen nem hallgatta meg. Ráadásul Lénárdék – Heisenberg mellett – később őt is fehér zsidónak nyilvánították, és az urániumprogramban sem volt rá szükség. Talán ezzel a történelmi környezettel is magyarázható, hogy 1937-ben vallási kérdésekkel kezd foglalkozni előadásaiban. A helyzet egyre romlik, le kell mondania akadémiai tisztségéről, majd kitör a háború. Planck berlini háza bombatalálatot kapott, könyvtára, jegyzetei elhamvadtak. 1945 januárjában Erwin fiát kivégzik egy Hitler-ellenes összeesküvésben való részvétel vádjával. Ezt a tragédiát már nem tudja úgy átvészelni, mint a ko-

rábbiakat, életkedvét elveszíti. Nyáron írja meg a *Tudományos önéletrajzot*. 1947-ben a Bonni Egyetemen tartja utolsó előadását *Az egzakt tudomány értelme és határai*⁸ címmel. Október 4-én hunyt el Göttingenben, ahová a Szövetségesek költöztették. A korábbi Vilmos Császár Társaság – ma körülbelül 80 kutatóintézettel – már halála előtt néhány hónappal az ő nevét viselte.

* * *

Ha Max Planck munkásságának jelentőségét akarjuk értékelni, akkor azzal kell kezdenünk, hogy a hőmérsékleti sugárzás problémájának megoldása nélkül is korának egyik legkiemelkedőbb elméleti fizikusa lett volna, azzal együtt pedig nyilvánvalóan óriási szerepe volt a modern fizika megteremtésében. Fizikai munkásságának középpontjában mindig a termodinamika, elsősorban az entrópia fogalma állt. A termodinamika második főtételét az entrópia növekedésének elveként fogalmazza meg, és felismeri, hogy az entrópia az energia mellett a fizikai rendszerek legfontosabb tulajdonsága, amelynek segítségével az egyensúlyi állapotokra lehet következtetni. Éljenjár az entrópiával alkalmazásában.⁹ Először halmazállapot-változásoknál, gázkeverékeknél, később kémiai reakciókban, oldatokban vizsgálja szerepét. Bár kortársai nem nagyon becsülik meg munkáját, később a fizikustársadalom belátja, hogy törekvései jogosak, eredményei fontosak voltak. Tevékenységét idegen, szakmailag és világnézetileg olykor ellenséges környezetben, a divatos áramlatokkal csaknem

egyedül szembeszállva folytatta. Többször keveredett olyan vitába kollégáival, amelyek az ő szempontjából eredménytelennek bizonyultak. Kivétel talán a Boltzmannal folytatott párbeszéd, amelynek egyik eredménye a molekuláris rendezetlenség Planck-féle hipotézise, a másik pedig bizonyos értelemben maga a hőmérsékleti sugárzás problémájának megoldása. Aktív kutatómunkájának utolsó szakaszában még értékes eredményeket ér el a termodinamikában – ő adja meg a harmadik főtételnek azt a megfogalmazását, miszerint az entrópia a hőmérséklet abszolút nulla fokhoz közeledésével szintén nullává válik –, és kiegészítéseket tesz az Einstein-féle speciális relativitás elméletéhez is.¹⁰

A hőmérsékleti sugárzás volt végre az a téma, amely a kortársak érdeklődésének is a középpontjában állt, de a megoldásra sokáig nem jöttek rá. Planck a termodinamika, az entrópia segítségével jut előbbre. Nem sokkal Wien után ő is megtalálja az eloszlási függvényt csökkenő hullámhosszakra. Az ő entrópiaformalizmusában azonban lehetőség nyílik a teljes megoldásra. Először formálisan megkeresi a helyes összefüggést, majd megpróbálja fizikailag értelmezni a törvényt. Ennek során Boltzmann nyomán az entrópia valószínűségi definícióját alkalmazza, és visszafelé számolva a sugárzási spektrumokból, megadja a Boltzmann-féle univerzális természeti állandó meg lehetőségen pontos számértékét. Ezen túl be kellett vezetnie egy új univerzális állandót, az elemi hatáskvantumot. Ezzel indította el a kvantumfizikát hatalmas karrierje felé. Még évekig próbálta beilleszteni a hatáskvantumot a klasszikus fizika kereteibe, de

hosszantartó erőfeszítése is bizonyította, hogy ez lehetetlen, a fizikában valami teljesen újnak kellett kezdődnie.

Az új világkép legfontosabb tulajdonságai ott voltak Planck elméletében, legfeljebb a fizikusok – és maga az alkotó – nem fogták fel azonnal mibenlétét. A valószínűség fogalmának szükségszerű alkalmazásáról és a diszkrét fizikai mennyiségekről van szó. A klasszikus tudomány mögötti természetfilozófiában ezek a tulajdonságok értelmezhetetlenek. A – valószínűséget megalapozó – véletlen csak a segédfogalom szerepét töltötte be a korábbi felfogásban. A természet eseményeit, folyamatait tökéletesen determinálnak tekintették, a véletlenről csak akkor beszéltek, ha az egyébként meglevő determinációs tényezők, okok nem voltak ismertek, vagy valami miatt (például túl sok számítást kellett volna végezni túl kevés idő alatt) nem lehetett használni őket. Ha történetileg igazságosak akarunk lenni, akkor persze meg kell említenünk, hogy a véletlennek és a valószínűségnek a klasszikus segédfogalmakon túlmenő használata megjelent már a James Maxwell és Boltzmann által kidolgozott kinetikus gázelméletben is, de arra a fizikustársadalom vagy még annyira sem figyelt, mint később Planck eredményeire, vagy megpróbáltak rá klasszikus magyarázatot adni. Hosszú távon a Planck-féle elmélet vált megkerülhetetlenné a kvantummechanika létrejöttével.

A kvantáltság tulajdonsága, amely a valószínűség említett értelmezhetősége miatt eleinte problematikusabbnak látszott, szintén valami nagyon újra utalt. Az első pillanatban alig volt felismerhető, de nem sokkal később kiderült, hogy a természet nem olyan-

féle – mechanikai – objektumokból áll, mint azt évszázadokon át hitték. Ennek megértése legalább olyan nehéz feladat, mint a véletlen szerepének tudomásulvétele. Olyannyira nehéz, hogy az ma, száz év múltán is csak a fizikusok osztályrésze lehet. A hétköznapi ember természetfelfogása sok vonatkozásban ma is közelebb áll a klasszikus mechanisztikus képhez.

Talán Planck életének és munkásságának történetéből már világos, hogy az ő természetfilozófiai nézetei egészen más kapcsolatban vannak legfőbb eredményével, mint azt esetleg más tudósok példái alapján részletesebb vizsgálat nélkül gondolhatnánk. Ezek a nézetek kívülről nézve nem mindig tűnnek teljesen konzekvensnek, annál is inkább, mert némileg változóak. Legérdekesebb problémájuknak pedig éppen a Planck által generált új világképpel való összefüggésük bizonyul.

* * *

Kötetünkbe megpróbáltuk Planck számos előadása, írása közül azokat beválogatni, amelyek leginkább tükrözik természetfilozófiai nézeteit. Ezek majd mindegyikét a Gondolat Könyvkiadónál két kiadásban is megjelent *Válogatott tanulmányokból* vettük át, változtatlanul hagyva M. Zemplén Jolán fordításait.¹¹ Hozzávettük azonban e cikkekhez Planck első és talán legfontosabb e tárgybeli előadását, az 1908-as leideni előadást Gerner József kiváló fordításában; ez a mű most jelenik meg először magyarul.¹²

Több szempontból sem hagyhattuk ki a válogatásból Planck késői *Tudományos önéletrajzát*, habár

eddig is ez volt talán legismertebb írása. Először is itt a már a tudományos tevékenységén túl lévő fizikus saját szavaival olvashatjuk szakmai élettörténetét, ami már önmagában igen tanulságos. Láthatjuk, hogy egy ma sikeresnek ítélt fizikusban mennyi keserűség halmozódott fel a kortársak értetlenségének következtében. Ebben az összefüggésben – tehát a 80-as, 90-es években a második főtételről folytatott viták és nem a kvantumelmélet kapcsán – olvashatjuk híressé vált szkeptikus megjegyzéseit az új tudományos igazságok győzelemre jutásáról az ellenfelek kihalása révén.¹³

A másik ok, amiért ismét közöljük ezt az írást, az az, hogy mindjárt a második mondatában lényegében természetfilozófiai-ismeretelméleti indoklást ad arra, miért választotta a fizikusi pályát: „gondolkodásunk törvényei egyeznek a külvilágról nyert benyomásaink lefolyásának törvényszerűségével... a külvilág mint valami tőlünk független és velünk szembenálló abszolút dolog létezik”. Nem lehetünk biztosak benne, hogy ezek és csak ezek az ifjúkori gondolatok vezették Planckot egész pályáján, hiszen ő sem kerülte el teljesen Mach hatását. Valami azonban bizonyosan van benne, hiszen valószínűleg tényleg az abszolút (aminek nála elsődleges jellemzői az alapvető és az általános) iránti érdeklődés vonzotta a fizikához – amely a természet legalapvetőbb törvényszerűségeivel foglalkozik –, és azon belül is az energiatételhez (amelynek érvényességi köre talán a legszélesebb a fizikában), a hasonló jellegű entrópiaelvhez, a hőmérsékleti sugárzás problémájához, a Nernst-tételhez, a relativitáselmélethez.

Az idézett második gondolat egyébként egy hagyó-

mányos materialista alapvetés, és megfogalmazásának késői időpontjában arra utal, hogy Planck teljesen kivonta magát nem csupán a machi hatás alól, hanem a saját elméletéből fakadó kvantummechanika szokásos interpretációja alól is, amely szerint méréseinkkel szükségszerűen beavatkozunk a természetbe, ezáltal az nem lehet sem tőlünk független, sem abszolút. Az elsőnek idézett gondolat következménye, hogy Planck a törvényszerűségek megismerésének elméleti útját választotta, hiszen az erre lehetőséget ad. Láttuk, hogy ezt az utat a XIX. század második felében, a XX. század elején nem volt könnyű követni, de Planck egy idő után hajlandó volt akár harcba is szállni védelmében, ha olyan filozófiai nézetekkel találkozott, amelyeket veszélyesnek tartott a tudomány haladására nézve. A tudományos önéletrajz utolsó bekezdése szerint erre feljogosították tudományos munkái, bebizonyított eredményei.

Ha figyelmesen olvassuk ezt a gondolatot, akkor láthatjuk, hogy Planck szerint gondolkodásunk nem a tőlünk független külvilágnak felel meg, mint azt egy spinozai vagy egyszerű materialista korrespondencia-felfogástól várhatnánk, hanem benyomásainknak. Ez első ránézésre Locke és Hume problematikáihoz vezetne bennünket, de ebben a cikkben nem jutunk ennél tovább Planck nézeteinek megismerésében.

Történetileg sejtjük, hogy ez az álláspont Mach nézeteivel szemben, az azzal való vitában teljesedik ki. Planck előbb kollegiális, majd élesebb formában, először szaktudományos, később világnézeti szinten száll szembe az osztrák fizikussal – ahogy ő érzi – a tudomány védelmében. Mint említettük, első hosszabb

lélegzetű műve *Az energiamegmaradás elve* még magán viseli Mach hatását, de már abban is vannak olyan részek, ahol felülkerekedik jelzett – ezidőtájt feltehetően még nem átgondolt – materialista álláspontja, és néhány Machéval ellentétes véleményét is leírta.¹⁴ A továbbiakban a szaktudományos ellentétek, az Ostwald-féle energetizmus, a Boltzmann-vita kényszerítették arra, hogy átgondolja a világnézetével kapcsolatos kérdéseket, és tökéletesítse, következetesebbé tegye természetszemléletét.

Egy évtizeddel később, 1897-ben írja meg termodinamika tankönyvét, amely évtizedekig a legjobb volt a maga minőségében, több német és angol nyelvű kiadást megért a következő 30 évben. Ebben már elhatárolja magát a machi felfogástól. Érdekes összehasonlítani mondjuk a hőmérsékletről szóló fejezetet Mach nagyjából ugyanekkor megjelent termodinamika könyvének megfelelő részével: ugyanúgy a hőérzettel indítanak, de míg Planck nagyjából eljut az abszolút hőmérsékleti skáláig, addig Mach azt már nem fogadja el. Általában véve is megállapítható, hogy Planck sokkal inkább korának szakmai színvonalán áll, Mach pedig főleg a pozitivizmusa által igényelt témákra tér ki, ami időnként szakmailag is torz eredményekre vezet. A két könyv közötti különbség további bemutatására itt nincs módunk, már csak Plancknak a termodinamika második főtételével kapcsolatos mondataiból idézünk: „A törvény ebben az általános formában helyes vagy nem, de akármi is, ilyen marad; függetlenül attól, hogy léteznek-e a Földön gondolkodók és kísérletezők vagy sem, és ha feltesszük, hogy léteznek, képesek-e a fizikai és kémiai folyamatok részleteit nálunk egy, két vagy

száz tizedessel pontosabban mérni. A törvény korlátainak, ha egyáltalán valahol, akkor ugyanazon a területen kell állniuk, mint alapeszméjének, a megfigyelt Természetben és nem a Megfigyelőben. Az, hogy a törvény levezetésénél az emberi tapasztalatot hívtuk segítségül, semmiféle következményekkel nem jár, mivelhogy ez az egyetlen módunk a természeti törvények megismerésére. De az egyszer már felfedezett törvény függetlenségét el kell ismernünk, legalább addig a fokig, hogy a Természeti Törvény fennállását az Észtlől függetlennek mondhatjuk. Aki ezt tagadja, annak tagadnia kell a természettudomány lehetőségét.”¹⁵ Kétségtelen, hogy Planck itt már nem pozitivista.

Egy további évtized telik el, amikor – immár nagyjelentőségű tudományos eredményekkel a háta mögött – először kifejti kialakult világnézetét *A fizikai világkép egysége* című előadásában, amelyben már személy szerint is Mach ellen fordul. Az önéletrajz után ennek írásos változatát közöljük először válogatásunkban. A fizikai világkép alakulását befolyásoló felfedezések áttekintése után, az előadás utolsó részében Planck felteszi a kérdést, vajon a fizikai világkép csak elménk önkényes alkotása, vagy a tőlünk független természetet tükrözi vissza; másképpen fogalmazva, léteznek-e a fizikai törvények az ember előtt és után. A kérdés tulajdonképpen kettős, egy ontológiai és egy ismeretelméleti részt is tartalmaz. Planck mindenképpen igennel válaszol, azaz állást foglal a természet független létezése és megismerhetősége mellett. Egyben azt is tudatosítja, hogy válaszai szemben állnak az ekkor már igen divatos Mach-féle felfogással. Néhány rövid mondattal meglehetősen

találón jellemzi a machizmust, és kiemeli, hogy az atomhipotézis, valamint az elektronelmélet ellen intézett támadások jogosulatlanok. Mach népszerűségének okát a mechanikus világnézettel kapcsolatos túlzó várakozások reakciójának tulajdonítja. Elismeri a felfogás belső konzisztenciáját, de tagadja hosszú távú jelentőségét.

Az előadás fogalmazása udvarias, de határozott állásfoglalását nem lehetett félreérteni. Machot ennyire alapvető bíráló már régen nem érte¹⁶ (tekintélyének csúcsán állott ekkoriban). Egy cikkben rendkívül éles hangon válaszolt, kifejtette elgondolásának alapelveit, és megpróbálta elhatárolni magát a szolipszizmustól. Planckot személyében is megtámadta. Ő válaszcikkében tovább bírálta a pozitivizmust, sőt a bírálatot kiterjesztette a Mach műveiben található szakmai részletekre is (rámutatva a figyelmen kívül hagyott tudományos felfedezésekre). Azt bizonygatja, hogy a konkrét fizikai problémáknál még maga Mach sem alkalmazza ismeretelméleti elveit, vagy ha igen, akkor gyakran téved.

Ezután Planck abbahagyja a vitát, reménytelennek tartja ellenfeleinek meggyőzését, hiszen már szaktudományos kérdésekben is rossz tapasztalatai voltak; emlékezzünk csak a tudományos önéletrajz megfelelő részeire. A következő években is tart ismeretelméleti tartalmú előadásokat, de a machizmussal való ellentétét nem hangsúlyozza. 1920-as Nobel-előadásában céloz arra, hogy Machot elvei akadályozták meg abban, hogy a termodinamikát továbbfejlessze. 1924-ben müncheni vendégelőadásában ismét bírálja az oszt-rák fizikust és követőit az atomelmélettel szemben tanúsított makacs és értelmetlen ellenállás miatt.

Két évtizeddel első előadása után, ugyanabban a városban, Leidenben ismét előadást tart a fizikai világképről. Ezt közöljük válogatásunk következő darabjában *Az új fizika világképe* címmel, amely sokkal inkább tekinthető pozitív kifejtésnek, mint az eddigiek. Mint azt a bevezető szavak után követhetjük, Planck természetfelfogásában az érzéki világból (a fizikában a mérésekből) indul ki. Itt azonban megáll, elhatárolja magát a pozitívizmustól, és az ésszerűsége hivatkozva felteszi egy reális külvilág létezését. Úgy gondolja ugyan, hogy ezt a reális világot közvetlenül nem ismerhetjük meg, mindig csak bizonyos torzítással, az érzéki világon keresztül, de mégis, a problémák megoldása során szükségszerűen fel kell tenni létezését.

Az érzéki és a reális világ közé helyezi a fizikai világképet (a tudományt), amely azokkal ellentétben az emberi szellem tudatos alkotása. Ennek célja: kapcsolatteremtés a reális és az érzéki világgal, azaz a reális világ minél tökéletesebb megismerése és az érzéki világ minél egyszerűbb leírása. Bármelyik oldal felé való elhajlást – azaz a metafizikus vagy a pozitivistikus irányzatot – egyoldalúnak minősíti, a kettő egymást kiegészítő alkalmazását tartja helyesnek, ahogy a fantáziáét és a tényekhez való ragaszkodását. Hasonlóan fontosnak tartja a később jelentkező axiomatikusok irányzatát, és itt is próbál rámutatni az egyoldalúság – a tartalom nélküli formalizmus – veszélyére. Valószínűleg jól látja, hogy ezek az irányzatok a történeti körülményektől függően kerülnek az előtérbe vagy szorulnak hátrább. A világkép változásainak lényegét azonban a fejlődésben találja meg, az érzéki világ tartalmának gazdagodásában,

a rá vonatkozó ismereteink elmélyülésében, a felette való uralmunk megszilárdulásában. Mindez nem jelenti azt, hogy a fizikai világkép ne veszítené el egyre inkább a szemléletes jellegét – gondoljunk csak éppen a kvantummechanikára.

Ami tehát Planck felfogásában előttünk áll, az egy főleg a fizikára konkretizált kanti kép. Itt van a kanti magánvaló világ és a számunkra való világ, amelyek között nincs ellenőrizhető kölcsönhatás, de szerepel helyette a fizikai világkép (a tudomány), amely érdekes módon próbálja megteremteni a kapcsolatot.

A következő évben *Pozitivizmus és reális külvilág* című – szintén beválogatott – előadásában, mint a cím is sejteti, a Mach-féle felfogás átfogó kritikájára tesz kísérletet. A kiindulás már ismert módon a személyes élmények, vagyis a tapasztalat. Ezután Planck a pozitivizmust úgy definiálja, mint olyan természetfilozófiai irányzatot, amely szerint csak az érzetek léteznek, a tudomány feladata pedig ezeknek egyszerű összefüggésbe foglalása. A pozitivizmus bírálatahoz beleilleszkedik annak gondolatvilágába, szigorú következetességgel végigviszi, és így próbálja megmutatni fonákságait. Jelzi, hogy mivel az élmények nem kerülhetnek logikai ellentmondásba, így ilyenek a meggondolások során nem jöhetnek elő, továbbá, mivel minden élményt figyelembe veszünk, így a tudás összes forrását beszámítjuk: minden értelmes kérdésre választ kapunk, és nem tehetünk fel olyan kérdést, amely nem válaszolható meg megfigyelések útján.

Először megállapítja, hogy ez a felfogás ellentmond a mindennapi gyakorlatnak, amennyiben a hétköznapi és tudományos fogalmakat megfosztja

valóságtartalmuktól, érzetkomplexumoknak tekinti őket. Rámutat, hogy pozitivista szempontból a mérési eredmények értelmezése teljesen önkényes, a ptolemaioszi probléma nem létezik, Kopernikusz rendszere csupán egyszerűbb kifejezésmódjával emelkedik a geocentrizmus fölé. Lehetetlen megítélnünk az említettek jelentőségét, történeti szerepét.

Ezután Planck végigkíséri a „célszerűbb kifejezési mód”-ot a szervesen világtól (fizikai törvények a valóságban nincsenek) a szervesen keresztül (az állatok fájdalma például csak beleérzés részünkről, célszerűségi okokból beszélünk róla, egyébként semmi értelme, pusztán így foglaljuk össze bizonyos hangok, észlelt izomrángások érzetkomplexumát) az emberek világáig (más emberek érzetei is csak „célszerű kitalálások”).

Ennél a pontnál állítja szembe a tudományt (a fizikát) a pozitívizmussal. Felveti az interszubsjektivitás problémáját, vagyis hogy csak saját élményeinkre nem építhetünk tudományt, szükségünk van mások élményeire is. Ezt a problémát természetesen Mach is látta (jelölésében ABC a külvilághoz, KLM pedig az ember testéhez tartozó elemek): „Az ABC... elemek egymástól való függésének megállapítása, a KLM...-től való elvonatkoztatás mellett adja a természettudománynak, vagy pedig a szó legáltalánosabb értelmében vett fizikának feladatát. A valóságban azonban az ABC... mindig a KLM...-től is függ. Amennyiben már most sok különböző KLM..., K'L'M'..., K''L''M''... vesz részt a munkában, sikerül a KLM... változásainak véletlen befolyását kiküszöbölni.”¹⁷ Ezzel azonban Planck megállapítása szerint a pozitivista felfogás alapját logikailag már áttörtük.

Ha ezen túltesszük magunkat, akkor felvetődik az a kérdés, hogyan összegezzük az egyes fizikusok élményeit. Pozitivista szempontból semmi okunk sincs arra, hogy különbséget tegyünk az egyes kutatók között. Akkor viszont mivel magyarázzák a pozitivisták azt, hogy a hamis mérések kimaradnak a fizika tudományából, az elméleti fizikusok eredményei viszont számítanak, holott az ő élményeik a papír és az agyvelőállomány környékére korlátozódnak. Miért keltettek egyes fizikusok élményei különösen nagy feltűnést a fizikusok világában – kérdezi Planck. Szerinte ezekre a kérdésekre a pozitívizmus nem tud kielégítő választ adni, és ezzel kimondja magáról az ítéletet. A problémák megoldását akkor kapjuk meg, ha elvetjük a pozitívizmust, és a fizika feladatát a reális külvilág megismerésében határozzuk meg.

Következő cikkünk egy 1935-ben Berlinben tartott – *A fizika harcban a világnézetért* címet viselő – előadás írásos változata, amelyben megint inkább a pozitív kifejtés dominál. Mint láttuk, Planck ismeretelméletében a tudományos kutatás közvetlen forrása a megfigyelés, a mérés. Ez azonban szerinte még messze nem elegendő, és ebben a beszédében legfőképpen a rendezés, összehasonlítás és osztályozás módszerét ajánlja hallgatói figyelmébe, mondván hogy ezek a fizikában beváltak, tehát nyilván más területeken is alkalmazhatók. Végigtekinti ezek szerepét a matematikában, a természet- és szellemtudományokban, majd részletesebben foglalkozik a fizika fejleményeivel. Úgy véli, bármennyire is új típusú tulajdonságokról szól a modern fizika, ez nem jelenti azt, hogy a természetfilozófia alapjai megváltoztak volna. Így például annak ellenére, hogy a mikrofizi-

kában érvényes a határozatlansági reláció, és hogy statisztikus jellegű törvényekkel operálnak, fennmaradhat a kauzalitás uralma. Az, hogy valamit nem tudunk kellő pontossággal megjósolni, Planck szerint nem jelenti egyben azt is, hogy a folyamat nem determinált.

Kifejti, hogy reményei szerint a látszólagos ellentmondást, a méréseinkben óhatatlanul jelentkező hibát az elmélet és ezen belül a gondolkísérletek segítségével lehet áthidalni. Vázolja ennek szerepét a fizikában, miközben kicsit hiányoljuk Einstein említését a témakörrel kapcsolatban, de ha a dátumra pillantunk, megértjük Planck tartózkodását. Az előadás utolsó részében, az eredeti célkitűzésnek megfelelően, elhagyja a fizika területét, és a szabad akarat problémájával foglalkozik, ami nem először fordul elő vele ezidőtájt – nyilván nem véletlenül –, ezzel kapcsolatban azonban az olvasót inkább a következő cikkekhez irányítanám, ahol részletesebben foglalkozik a kérdéssel. A beszéd az igazság, igazságosság, becsületesség, őszinteség és hazugság kérdéseivel zárul. Talán akik akartak, értettek belőle.

Mielőtt az akaratszabadságról szóló részletes cikket elolvasná, javasoljuk az olvasónak a determinizmusról kicsit általánosabban szóló *A fizikai törvényszerűség az új kutatás fényében* című, 1926-os düsseldorfi előadás átnézését. A legutóbbi cikk olvasása során felmerülhetett a kérdés, nem tulajdonít-e túlzott jelentőséget Planck az elméletnek a kísérlettel szemben. Nos, az elmélet szerepének hangsúlyozása nyilván a pozitivisták irányzatok visszahatásának tulajdonítható, és nem a gyakorlattól elrugaszkodó szemléletmódnak. A fizikai törvényről vallott nézetei ezt

is bizonyítják. A fizikai törvényeket Planck a mérhető mennyiségek közötti szükségszerű, általános és tartós összefüggésként definiálja, legalábbis ha szavait a filozófiában szokásos terminológiára fordítjuk. Posztulálja, hogy ilyenek léteznek, és kijelenti, ezek tartalmát nem lehet pusztán gondolkodással meghatározni, hanem tapasztalatokra van szükségünk.

A törvényeket két nagy csoportra osztja: az elsőbe tartoznak azok, amelyeknek matematikai alakjában az idő előjelét megfordítva is megtartják érvényességüket, az általuk leírt jelenségek reverzibilisek; a másik csoportba az egyirányú, irreverzibilis folyamatokhoz kapcsolódó törvények tartoznak, amelyekben az idő előjele lényeges szerepet játszik. Megalapítja a kétféle törvényszerűség ellentétes jellegét, de mégis, az egységes fizikai világkép érdekében megpróbálja visszavezetni az egyiket a másikra. Az első típusú, dinamikus törvényeket tekinti elsődlegeseknek, és ezekre vezeti vissza az irreverzibilis folyamatok „durvább”, statisztikus törvényszerűségeit. Erre a gondolatmenetre a kauzalitáshoz és a klasszikus fizikához ragaszkodás jellemző; nagy kérdés – amely azóta is foglalkoztatja a kvantummechanikát nem ortodox módon értelmezni próbáló fizikusokat –, hogy alátámasztható-e a szaktudomány szempontjából.

A klasszikus fizikához való ragaszkodás jegyében Planck úgy véli, hogy az új eredmények nem a régiéik helyébe, hanem melléjük állnak, a klasszikus fizika a maga érvényességi körén belül helyes és értékes eredményeket tud felmutatni. Természetesen Planck nem vádolható azzal, hogy a klasszikus fizika tisztellete megakadályozta volna az új eredmények elismerésében, sőt létrehozásában.

Planck természetfilozófiájának lényeges pontja a determinizmusról vallott felfogása, amelyet ebben és számos más cikkében is érint. Gondolatmeneteinek követésében nehézségeket okozhat, hogy a kauzalitás és a determinizmus fogalmakat nem definiálja pontosan, és semmiképpen sem úgy, ahogyan azt manapság szokás. Mint láttuk, megpróbálja a kvantummechanikát, a határozatlansági relációt összeegyeztetni a szigorú kauzalitás elvével. Egy olyan korszakban, amikor már szinte divat volt indeterministának lenni, végig következetesen kitartott a determinizmus mellett, lehetetlennek tartotta az okság kirekesztését a tudományból. Sőt még a lelki életre is korlátlanul érvényesnek vélte a kauzalitás elvét. Ennek ellenére hitet tett a szabad akarat létezése mellett, de inkább csak abban az értelemben, hogy az egyén nem képes kauzálisan követni akarati folyamatait, döntéseit, ezért azt hiheti, hogy akarata tökéletesen szabad. Az akarat tehát kívülről nézve teljesen determinált, belülről nézve szabad. Ezt az érdekes gondolatmenetet követhetjük részletesen *Az akarat-szabadság lényegéről* című 1936-os előadásában, amely válogatásunk utolsó előtti darabja.

Ezen a ponton térnénk ki Planck felfogásának egy másik fontos kérdésére, a valláshoz való viszonyára. Úgy látja, hogy a vallás kialakulásának egyik oka a félelem, a vágy az ismeretlen hatalmak jóindulatának megnyerésére. Elszórt megjegyzéseiből tudjuk, hogy elítéli a tételes vallások dogmáit, és rámutat a fizika szerepére ezek cáfolatában. Talál viszont egy közös pontot a vallásban és a tudományban, ez pedig a „Világrend”, illetve a „természet felett uralkodó, mindenható értelem”, amelyet azonosít a vallás Istenével.

Véleménye szerint a vallásos ember számára Isten adott, ő a hit alapja, létezésére épül a vallás szimbólumrendszere, amelynek igen nagy jelentőséget tulajdonít. A másik oldalról viszont a természettudós számára a tapasztalatok adják az alapot, erre építi fel a tudományt, amelynek célja a világrend megismerése. Ily módon azt állítja, hogy a vallás és a tudomány ellentéte nem létezik, más területeken működnek és kiegészítik egymást. Hangsúlyozni kell azonban, hogy Planck nem hitt a keresztény vagy bármilyen más személyes istenben, felfogása inkább panteista. Vallásos hite nem más, mint a reális külvilág és az objektív természettörvények létezésébe vetett hit. Ez alól talán az 1937-tel kezdődő időszak kivétel, amikor a fasizmus idején – nyilván erkölcsi szempontokat előtérbe helyezve – hangsúlyozza a vallás jelentőségét.

Utolsónak tettük be Planck *A tudományos eszmék eredete és hatása* című 1933-as berlini előadását, mert úgy érezzük, ez nagyjából összefoglalja mindazt, amit gondol a tudományról, és azon belül az ő munkásságában is oly fontos hipotézisekről. Mint a cím is mutatja, megint az elmélet szerepéről van szó. A kiindulópont az, hogy az egymástól rendszerint elkülönült mérések nem elegendők, csak rájuk támaszkodva ismereteink igen hézagosak maradnának. A tudományos eszme (gondolat, hipotézis) az, amely a méréseket összefüggésbe hozza és általánosítja, s ezáltal új kutatásokhoz, majd sikerekhez vezet. A hipotézisek felállításánál hangsúlyozza az analógiák szerepét. Elemzi a fizika történetében előforduló hipotézisek keletkezését és sorsát, a tudomány fejlődését segítő, esetleg gátló szerepüket.

A helyes hipotézisekből lesznek a legnagyobb való-

színűséggel és hatókörrel rendelkező elméletek, amelyek közelebb visznek a reális világ megismeréséhez. Az elmélet tekintélyét a vele összhangban lévő mérési eredmények adják. Ha a mérési eredmények ellentmondanak az elméletnek, akkor újat kell felállítani.

Ha összegezni akarjuk Planck világképét, akkor ezt elsősorban Machéval szemben határozhatjuk meg. Mint tudjuk, Mach úgy jutott el felfogásához, hogy Kant kettős világából – mint feleslegest – elhagyta a magánvaló világot. Nos, Planck szerint Kantnak igaza van, és a tudomány megalapozásához szükség van a magánvaló feltételezésére is. Ezért egy számára – illetve főleg az elméleti fizika számára – alkalmas formában visszahozza. Ennek érdekében fogalmazza meg kritikáját a pozitívizmus felett, amely azonban nem terjed ki a Mach utáni filozófiai fejleményekre, tehát például a Bécsi Kör nézeteire.

Planckot szakmailag, bár bánatára nem rögtön, de elismerték, és ez az elismertség ma már ott tart, hogy a legnagyobbak között emlegetik. Nem ez a helyzet természetfilozófiai törekvéseivel. Mint láttuk, ő maga sem bízott túlságosan abban, hogy állásfoglalása nyomán a pozitívizmus kiszorul a természettudományból. Ez valóban nem történt meg, sőt a fizika fő áramában ismeretelméletileg éppen a pozitivista irányzatok lelhetőek fel leginkább. Abban azonban valószínűleg nagy érdemei vannak Plancknak, hogy a természetfilozófiai irányzatok mutatnak némi változatosságot is. Említhetjük itt Einsteint, aki eleinte feltétel nélküli machista volt, de később – az elméleti fizikus őstípusaként – fokozatosan kiábrándult, és egy spinozista jellegű álláspontot foglalt el. Ebben

feltehetőleg szerepe volt a vele szoros kapcsolatban lévő Plancknak is. Előadásaival és írásaival ugyan csak hozzájárult ahhoz, hogy a XX. század első felében működő fizikusok – mint Heisenberg, Carl von Weizsäcker és mások – még ismerték, vitatták és felhasználták a kanti (és nem a neokantiánus) filozófia¹⁸ elemeit. Válogatásunkat tehát úgy ajánljuk olvasóinknak, mint egy korszakokat elválasztó és összekötő nagy fordulat tanúbizonyságát.

Szegedi Péter

JEGYZETEK

¹ Kuhnnak szemére szokták hányni, hogy míg *A tudományos forradalmak szerkezete* (Budapest, 1982, Gondolat) című korszakos tudományfilozófiai művében azt sejteti, hogy a tudományos forradalmakra szociológiai magyarázatot kell adni, addig a későbbi, *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894–1912*. (New York, 1978, Oxford University Press) című történeti munkájában – amely a lehető legrészletesebben elemzi Planck útját a hőmérsékleti sugárzás megoldásához és kísérleteit egy olyan sugárzási elmélet megalkotására, amely beleilleszthető a klasszikus fizikába – nyoma sincs a tudományon kívüli tényezőknek. Nos, az említettek szerint ez talán azért van így, mert Planck tevékenysége nem a társadalmi körülmények miatt, hanem azok ellenére alakult úgy, ahogy alakult.

² Planck egy 1924-es müncheni előadásából idézi. Friedrich Herneck: *Az atomkorszak úttörői*. Budapest, 1969, Gondo-

lat. 116. o. Jolly természetesen nem állt egyedül véleményével. Lord Kelvin még 1900. április 27-i előadásának is azt a címet adta, hogy *Tizenkilencedik századi felhők a hő és fény dinamikai elmélete felett*, és azt fejtegette, hogy az egyébként jól megalapozott elméletnek két problémája van: az egyik az éter relatív mozgása, a másik az energia ekvipartíciója, de ezek talán egyszerű módon megoldhatók. Ebből a két felhőből nőtt ki a XX. század elejének két fizikai forradalma. Idézi Jagdish Mehra-Helmut Rechenberg: *The Historical Development of Quantum Theory*. Vol. 1. Part 1. New York, 1982, Springer. 23. o.

³ Uo. 121. o.

⁴ Max Planck: *Válogatott tanulmányok*. 2. bővített kiadás. Budapest, 1982, Gondolat. 339–344. o.

⁵ Uo. 345–357. o.

⁶ Werner Heisenberg: *Válogatott tanulmányok*. Budapest, 1967, Gondolat. 75. o.

⁷ A történetet és az idézeteket közli Ernst Peter Fischer: *Arisztotelész, Einstein és a többiek*. Budapest, 1998, Saxum. 268–272. o.

⁸ Planck: *Válogatott tanulmányok*. 312–335. o.

⁹ Előfordul persze, hogy tudtán kívül megelőzi valaki, például egy esetben Josiah Gibbs.

¹⁰ Rámutat, hogy az energia-tehetetlenség törvény kiegészíthető azzal, hogy az energiaáramlással impulzus is együtt jár.

¹¹ Az átvett fordítások eredetije: M. Planck: *Physikalische Abhandlungen und Vorträge*. Braunschweig, 1958, Friedrich Vieweg und Son.

¹² A fordítás a következő kiadás alapján készült: Die Einheit des physikalischen Weltbildes. In M. Planck: *Wege zur physikalischen Erkenntnis*. Leipzig, 1933, Hirzel.

¹³ Az utóbbi időben a tudományszociológiában Planck-elvnek nevezik a tudományfejlődésnek ezt az – azért szerencsére nem túl általános – módját, szembeállítva a másik szélsőséggel, a Popper-elvvel, amely szerint a tudósok azonnal feladják elméleteiket, ha a kísérletek meg-

cáfolják jóslataikat. Mindkettőre példákkal és ellenpéldákkal szolgál Gerald Holton and Stephen G. Brush: *Physics, the Human Adventure*. New Brunswick, 2001, Rutgers University Press.

- ¹⁴ Machnak a munkamegmaradás elvéről szóló munkájával kapcsolatban.
- ¹⁵ Idézve az angol kiadásból. M. Planck: *Treatise on Thermodynamics*. London, 1926, Dover. 106. o.
- ¹⁶ Kivéve V. I. Lenin *Materializmus és empiriokriticizmus* (Budapest, 1961, Kossuth) című művét, amely ugyanekkor jelenik meg, és Planckéhoz helyenként kísértetiesen hasonló érvelést tartalmaz. Machnak barátai azonban azt mondták, hogy a művet nem szakember írta, ezért nem olvasta el.
- ¹⁷ E. Mach: *Az érzetek elemzése*. Budapest, 1927, Franklin. 239. o.
- ¹⁸ Magának Plancknak, továbbá Einsteinnek és Lauénak Kanthoz való viszonyáról kicsit bővebben: Ilse Rosenthal-Schneider: *Reality and Scientific Truth*. Detroit, 1980, Wayne State University Press.